

## ОЦЕНКА ФОРМЫ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

*Бушueva Н. И., Логинов Ю. Н.*

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н.

Ельцина, Екатеринбург, Россия

[buschuevan2013@yandex.ru](mailto:buschuevan2013@yandex.ru), [j.n.loginov@urfu.ru](mailto:j.n.loginov@urfu.ru)

**Аннотация.** В настоящее время сферическая система координат широко используется при исследовании напряженно-деформированного состояния процесса волочения. В работе выполняется проверка гипотезы сферичности очага деформации в процессе холодного волочения проволоки из электротехнической меди на стане грубого волочения. В результате проведенного исследования было установлено, что на выходе из очага деформации форма его границы близка к радиальной, однако на входе в очаг деформации граница имеет другую форму. В ходе работы было зафиксировано разделение очага деформации на две половины с локализацией интенсивностей скоростей в кольцевых зонах, что может послужить причиной возникновения неоднородности структуры проволоки.

**Ключевые слова:** медная проволока, очаг деформации, цветная металлургия, волочения проволоки, напряженно-деформированное состояние, гипотеза сферичности очага деформации.

## THE SHAPE ESTIMATION OF THE DEFORMATION ZONE DURING THE COPPER WIRE DRAWING PROCESS

*Bushueva N.I., Loginov Y.N.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,

Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** Today the spherical coordinate system is widely used in the study of the drawing stress–strain state. The spherical boundaries hypothesis of the deformation zone test in the cold drawing process of electrical copper wire on a coarse drawing mill was performed. It was found that at the exit of the deformation zone borders form are close to radial, however the boundary has a different shape at the entrance to the deformation zone. The deformation zone is divided into two halves with localization

of the velocity intensities in the annular zones which may cause the wire structure inhomogeneity.

**Key words:** copper wire, deformation zone, non-ferrous metallurgy, wiredrawing, stress-strain state, spherical boundaries hypothesis.

В теории листовой прокатки часто используют гипотезу плоских сечений для вывода уравнений с целью расчета энергосиловых параметров. В отличие от плоской прокатки многие исследователи при выводе формул для описания напряженно-деформированного состояния процесса волочения использовали сферическую систему координат [1]. Тем самым предполагалось, что сечения, бывшими сферическими до деформации, сохраняют сферическую форму в процессе деформации. В сферической системе координат лишь одна координата радиуса вектора  $\rho$  имеет линейную размерность, а две другие имеют угловые размерности. При осесимметричном волочении компоненты напряжений и деформаций вдоль тангенциального направления  $\phi$  одинаковы. Угловая координата  $\varphi$  характеризует степень отклонения радиуса – вектора от оси симметрии. В плоскости очага деформации описывается радиальным строением (рисунок а) и ограничен стенками волоки, расположенными под углом  $\varphi$  к оси симметрии.

Для проверки такого положения поставлена и решена краевая задача волочения в программном модуле RAPID – 2D, разработанном в Уральском Федеральном университете.

Задача решена для условий первого прохода волочения медной катанки диаметром 8 мм с получением проволоки диаметром 6,53 мм. Коэффициент вытяжки здесь составляет довольно большую величину 1,50, а относительное обжатие 33 %, угол волоки 9°, показатель трения по Зибелю 0,1. Здесь использованы реальные параметры, реализуемые в промышленности. Применены кривые упрочнения для меди марки М0.

Результаты расчета приведены в виде линий равного уровня относительной интенсивности скоростей деформации сдвига  $H/H_0$  (рисунок б). Здесь видно, что на выходе из очага деформации форма границы близка к радиальной, но на входе форма иная.

Полученные результаты говорят о том, что если перемещаться по угловой координате  $\varphi$ , то мы получим график функции с максимумом. О таком строении очага деформации косвенно свидетельствуют линии замороженной сетки. Они были прямыми до входа в очаг деформации. Но на выходе из очага поперечные линии получили изгиб определенного вида. Обычно эти линии отображают как

линии параболы, имеющей вершину на оси симметрии. Здесь картина несколько иная. Можно говорить о двух параболах с вершинами, расположенными в двух половинах очага деформации. Два максимума  $N/N_0$  свидетельствуют о разделении очага деформации на две половины с локализацией интенсивностей скоростей в кольцевых зонах.

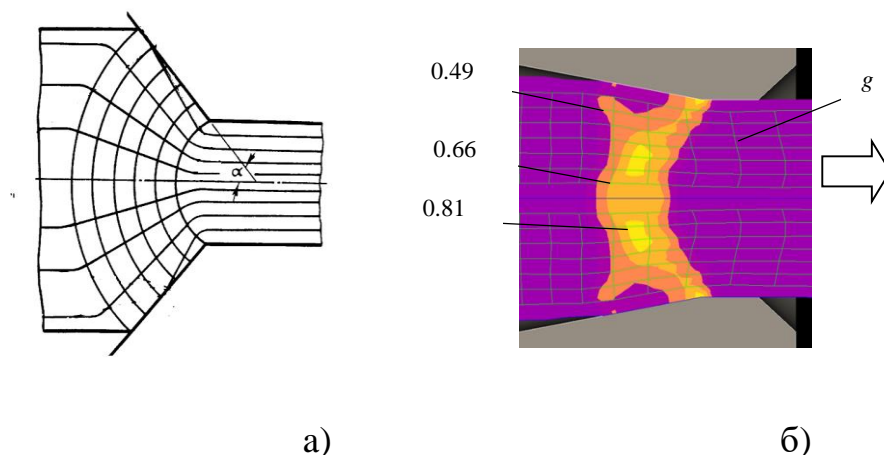


Рисунок – Очаг деформации в сферической системе координат (a) и распределение относительной скорости деформации сдвига  $N/N_0$  (b) при волочении медной проволоки: стрелка – направление волочения; g – замороженная сетка

Отмеченный факт говорит о возможности возникновения в проволоке дополнительной неоднородности структуры, по крайней мере в условиях повышенных деформаций.

В более ранних работах отмечалась связь схемы напряженно – деформированного состояния при волочении с поведением дефектов [2,3], изменением свойств металла [4,5] и интенсивности текстурирования [6].

### Библиографический список

1. Перлин И. Л., Ерманок М.З. Теория волочения // М.: Металлургия. 1971. 448 с.
2. Loginov Y.N., Pervukhin A.E., Babailov N.A. Evolution of surface defects in platinum alloy wire under drawing // AIP Conference Proceedings. 2017. V. 1915. N 040032.
3. W. Jong, N. Chul, M. Bae. Void initiation and microstructural changes during wire drawing of pearlitic steels // Materials Science and Engineering: A. 1995. V. 203, Iss. 1 – 2. P. 278 – 285.

4. Loginov Yu.N., Vasilevskij P.A., Radionov L.V. Investigation of the effect of die taper angle on the mechanical properties of drawn semiproduct // *Tsvetnye Metally*. 2004. V. 6. P. 104 – 106.
5. Influence of the die geometry on the hydrogen embrittlement susceptibility of cold drawn wires / J. Toribio, M. Lorenzo, D.Vergara, V. Kharin etc. // *Engineering Failure Analysis*. 2014. V. 36. P. 215 – 225.
6. Unusual Youngs modulus behavior in ultrafine – grained and microcrystalline copper wires caused by texture changes during processing and annealing / P.P. Pal – Val, V.D. Natsik, Y.N. Loginov etc. // *Materials Science and Engineering: A*. 2014. V. 618. P. 9 – 15.